干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000－6060.2019.01.11

不同时间尺度的 MOS 方法对宁夏气温预报的影响①

陈 迪[1,2,3]， 陈豫英[1,2,4]， 马金仁[1,2,4]， 聂晶鑫[1,2,4]， 李 强[1,2,4]

（1 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室，宁夏 银川 750002； 2 宁夏气象防灾减灾重点实验室，宁夏 银川 750002； 3 吴忠市气象局，宁夏 吴忠 751100； 4 宁夏气象台，宁夏 银川 750002）

摘 要： 掌握 NMC 和本地客观产品的气温预报能力，对提高宁夏城镇天气预报质量和全国排名有重要的意义。基于 2009 年 1 月～2014 年 12 月 T639 和 ECMWF 两种模式产品及宁夏 20 个国家级观测站气温资料，采用资料按月和季划分的 2 种 MOS 方法，预报未来 168 h 最高、最低气温，运用宁夏现行的检验评估方法对 2015 年 1 月～2016 年 6 月的预报效果进行检验，并与预报员（YBY）和中央气象台指导产品（NMC）对比，结果表明：MOS 方法预报宁夏气温，整体预报效果优于 NMC，资料按月划分的 MOS 预报效果优于资料按季划分，ECMOS 月和 T639MOS 月是最高和最低气温的最优客观产品；最低气温预报中 YBY 优于 T639MOS 月，最高气温预报中 ECMOS 月优于 YBY；两种最优客观预报产品一致的物理量为集中在中低层或地面的相当位温或假相当位温、温度、湿位涡、高度等，但各自还有一些起关键作用的入选因子影响最高、最低气温的预报。

关 键 词： MOS 方法；不同资料划分；检验评估；宁夏

文章编号： 1000－6060（2019）01－0094－09（0094～0102）

从天气预报诞生以来，气温预报一直是其重要的组成部分，近年来由于全球气候变化的影响，严寒酷暑、短时强降水等极端天气现象在宁夏频发，公众对于天气预报的要求和关注度也越来越高，特别是对于极端气温，其预报是否准确、及时，直接影响到人们的生产生活。

早在 20 世纪 50 年代末美国就开始研究数值预报产品释用技术，60 年代末就输出统计（Model Output Statistical，简称 MOS）预报方法进入业务运行，其他发达国家也相继开展了 MOS 和 PP 方法的试验或业务运行。到目前，用于业务系统的预报方法主要有 MOS 方法、相似预报方法、动力方法及卡尔曼滤波方法等[1]。我国数值预报产品释用的研究试验开展相对比较晚，但通过气象工作者的多年努力，在数值预报产品解释应用技术方面取得了很多的研究成果，并在实际的预报业务中得到了应用，取得了很好的效果。罗菊英等[2]将天空状况进行分型后建立地方气温 MOS 预报模型，并对应高低温一般出现时间段来选取数值预报产品因子进行预报，对本地气温预报质量的提高有积极的意义。刘还珠等[3]应用数值预报产品释用 MOS 技术制作温度、降水、相对湿度、风、云量及能见度等要素预报，结果表明降水预报尚未达到可用程度，温度和相对湿度的短期预报在大多数情况下是可用的或是可参考的。陈豫英等[4]利用 1982 年 1 月～2010 年 3 月动力延伸预报产品及宁夏候平均气温，采用逐步回归的 MOS 统计方法，预报宁夏 24 个测站未来 40 d 逐候平均气温，结果表明：无论是准确性，还是稳定性，MOS 预报都比模式直接输出有显著提高，即使是出现极端气温，MOS 预报误差值随预报时效临近逐步减小，预报结果能满足现行业务需求。这些研究都很好的证明了数值预报产品解释应用技术在气温预报中有很好的指导意义[5－11]。但由于模式产品种类繁多，预报效果不一，随着对模式直接预测产品的要求越来越精细，便有很多学者通过对比检验，评估各模式的预测性能，为预报员提供决策依据[12－16]。

近年来，宁夏气象工作者结合本地实际，围绕各种数值模式产品，也开发了多个客观统计预报产品，

① **收稿日期：** 2018－06－24； **修订日期：** 2018－10－27
基金项目： 宁夏回族自治区重点研发计划（科技惠民）项目（2016KJHM128）；国家自然科学基金（41465004）
作者简介： 陈迪（1990－），女，1990 年，学士学位，助工，主要从事综合气象业务和精细化预报技术研究. E-mail：1016532246@qq.com
通讯作者： 陈豫英（1972－），女，1972 年，硕士学位，正研和首席预报员，主要从事天气预报及其方法研究. E-mail：chenyuy@sina.com

目前,宁夏天气预报业务中使用的城镇预报指导产品种类繁多,既有来自数值模式直接插值的要素产品,也有数值预报解释应用产品,由于模式不同导致预报产品的一致性问题日益凸显,如:天气平稳时,各产品预报基本一致,预报员不需做过多的订正,但有明显冷空气活动或强降水天气出现时,不同数值预报对冷空气影响或强降水出现的时间、强度、区域、量级不尽相同,基于不同模式释用的客观产品预报结果也差异较大,不同预报员对不同模式和指导产品的理解和应用也不同,极易出现预报偏差[17]。自 2008 年中国气象局对全国地市级测站预报进行检验开始,到 2010 年评估测站扩展为全国 31 个省(区)市所有县站,其中 24 ~168 h 的最高、最低气温预报准确率,预报偏差和相对 NMC 的订正技巧及在全国的排名就是其评估项目的一部分。从 2010—2014 年宁夏的预报和全国排名看:宁夏连续 5 a 预报质量排名偏后,尤其是 2014 年,最低气温预报准确率排名全国倒数第 7,订正技巧倒数第 5。

因此,为了提高气温预报准确率和订正技巧,迫切需要掌握 NMC 和本地客观产品的预报能力,期望在检验评估基础上,能够找到替代 NMC 的客观产品,并不断完善,提高宁夏城镇天气预报质量和全国排名。基于以上原因和研究结果,本文对 6 种主客观产品在 2015 年 1 月 ~2016 年 6 月预报效果进行评估,寻找出气温预报的最优客观产品,分析不同资料划分的 MOS 方法的主要影响因子,供预报员参考,从而为增强客观产品的应用能力和上级指导产品的订正能力、提高宁夏城镇天气预报质量和排名提供技术支撑。

1　资料及方法

1.1　使用资料

使用中国气象局下发的 T639 和 ECMWF 两种模式产品、宁夏 20 个国家级观测站最高、最低气温资料。资料时间为 2009 年 1 月 ~2016 年 6 月,其中 2009—2014 年资料为建模样本,2015 年 1 月 ~2016 年 6 月为检验样本。

1.2　因子预处理

T639 模式产品的网格距为 0.562 5° × 0.562 5°,时间间隔为 3 h,预报时效为 240 h。基础产品包括 14 层 35 个物理量,通过热力、动力等诊断分析,计算出 112 个扩展物理量,插值到站点上,每个测站可得到 1 443 个物理量作为备选因子库。

ECMWF 模式产品的网格距为 2.5° ×2.5°,时间分辨率为 24 h,预报时效为 168 h。基础产品包括 4 层 6 个物理量,通过热力、动力等诊断分析,计算出 27 个扩展物理量,插值到站点上,每个测站可得到 51 个物理量作为备选因子库。同时,考虑到模式可能会有提前或滞后的预报偏差以及数值预报中 0 场预报误差最小,因此,建立方程时,将 0 场和相应预报时次的因子作为备选因子,还同时选取预报时次前后 4 个时次的数据作为备选因子。

1.3　MOS 方法

为了检验不同资料划分及样本长度对预报质量的影响,设计了 2 种 MOS 技术方案[3-8]:

方案 1:将建模样本按自然季节划分,以 3 ~5 月、6 ~8 月、9 ~11 月、12 月 ~次年 2 月划分为春、夏、秋、冬四季。每个季节、要素、测站、时次的建模样本有 552 个。

方案 2:将模式预报资料按月划分,并且每月分别向前后顺延 15 d。每个月、要素、测站、时次的建模样本有 360 个。

ECMOS 季和 ECMOS 月为基于 ECMWF 模式,使用方案 1 和 2 制作的宁夏城镇预报产品;T639MOS 季和 T639MOS 月为基于 T639 模式产品,使用方案 1 和 2 制作的宁夏城镇预报产品。

1.4　检验方法

检验产品:宁夏上传的城镇预报 YBY、中央台下发指导产品 NMC、T639MOS 季、T639MOS 月、ECMOS 季、ECMOS 月。宁夏参加全国预报检验的有 20 个测站。

检验对象:每日 20:00 起报的 24 ~168 h 最高、最低气温,其中,MOS 方法使用的是前一日 20:00 起报资料,为了与 YBY 和 NMC 保持一致,便于比较,前一日起报的预报时效都往前提 24 h,最后所有检验产品都统一为 24 ~168 h,但 ECMWF 数值模式只有 144 h 内资料,因此,检验时效到 144 h,其他预报产品都到 168 h。

检验内容:24 ~168 h 最高气温、最低气温预报准确率、平均绝对误差和相对 NMC 的预报订正技巧、综合预报质量。检验方法依据中国气象局下发的《全国城镇天气预报质量国家级检验方案》、《关于下发中短期天气预报质量检验办法(试行)的通知》(气发〔2005〕109 号)。其中,最高和最低气温技巧评分为:

$$SST = \frac{T_{MAEN} - T_{MAEF}}{T_{MAEN}} \times 100\% \qquad (1)$$

式中:T_{MAEN}为 NMC 气温预报平均绝对误差,T_{MAEF}为其他检验产品气温平均绝对误差。当 $T_{MAEN}=0$ 时,$SST=1.01$。

综合预报质量评分为:

$$TPC = PC_{24} \times \frac{10}{27} + PC_{48} \times \frac{8}{27} + PC_{72} \times \frac{6}{27} + PC_{96} \times \frac{2}{27} + PC_{120} \times \frac{1}{27} \qquad (2)$$

式中:PC 为所有检验产品 24 ~ 168 h 的最高、最低气温的准确率或订正技巧。

2 2015 年 1 月 ~ 2016 年 6 月预报效果检验

2.1 逐时效检验

图 1 显示,6 种产品气温预报效果均随预报时效延长而降低,MOS 预报效果普遍优于 NMC,MOS 月预报效果普遍优于 MOS 季,最高气温订正技巧普遍优于最低气温,T639MOS 月和 ECMOS 月分别是最低气温和最高气温最好的客观产品,两个最优产品的综合预报质量分别较 NMC 高 2.3% 和 10.6%,相对于 NMC 的综合订正技巧分别为 0.04 和 0.2,其中:最低气温检验结果表明(图 1a、1b):168 h 时段内,T639MOS 月和 T639MOS 季预报准确率都超过 NMC,相对于 NMC 的订正技巧逐时效均为正技巧,ECMOS 月和 ECMOS 季在 24 ~ 72 h 预报准确率低于 NMC,相对于 NMC 的订正技巧为负技巧,96 ~ 144 h 预报准确率高于 NMC,订正技巧为正技巧,其中,T639MOS 月在 24 ~ 48 h 和 144 ~ 168 h 比 NMC 高 2% 以上,168 h 达到最高,为 4.6%,相对于 NMC 的订正技巧逐时效也都为正技巧,在 0.02 ~ 0.08 之间;T639MOS 季在 48 h 和 144 ~ 168 h 较 NMC 高 2% 以上,48 h 和 168 h 最高,为 2.9%,相对于 NMC 的订正技巧除了 24 h 为 -0.004,其他时段均在 0.03 ~ 0.06;ECMOS 月和 ECMOS 季在 24 ~ 72 h 预报准确率较 NMC 低 0.2 ~ 8.2%,相对于 NMC 的订正技巧为 -0.188 ~ -0.015,96 ~ 144 h 预报准确率较 NMC 高 0.5 ~ 2.5%,订正技巧在 0.003 ~ 0.05,24 h 的预报质量最差。

最高气温检验结果表明(图 1c、1d):168 h 时段内,T639MOS 月、T639MOS 季、ECMOS 月、ECMOS 季等 4 种客观产品的预报准确率都超过 NMC,相对于 NMC 的订正技巧逐时效也都为正技巧,其中,ECMOS 月除了 24 h 和 120 h 预报准确率较 NMC 高 6.6% 和 10.6%,其他时段高出 12% 以上,96 h 高达 14.4%,相对于 NMC 的订正技巧除了 24 h 为 0.13,其他时段正技巧都超过 0.2,96 h 最高,达 0.27;ECMOS 季除了 24 h 和 120 h 预报准确率较 NMC 高 5.6% 和 9.9%,其他时段都较 NMC 高 10% 以上,72 h 更高达 12.4%,相对于 NMC 的订正技巧除了 24 h 和 144 h 为 0.13 和 0.19,其他时段正技巧都超过 0.2,96 h 最高,达 0.24;T639MOS 月逐时效预报准确率较 NMC 高 3% 以上,168 h 最高,达 6%,相对于 NMC 的订正技巧在 0.08 以上,144 h 最高,达 0.11;T639MOS 季逐时效预报准确率较 NMC 高 1% 以上,144 h 和 168 h 最高,达 4.7%,相对于 NMC 的订正技巧在 0.04 以上,144 h 最高,达 0.1。

YBY 综合预报质量与最优客观产品相比(图 1),最低气温预报效果最好,最高气温预报中 ECMOS 月优于 YBY,其中,最低气温在 24 h、72 h、96 h 等 3 个时次,YBY 高于 T639MOS 月 0.6% ~ 1.5%,144 h 和 168 h 低于 T639MOS 月 1.2% 和 2.5%,其他时段与 T639MOS 月持平,YBY 相对 NMC 最低气温的正技巧在 24 h 和 72 ~ 120 h 较 T639MOS 月高 0.005 ~ 0.02,其他时段较 T639MOS 月低 0.003 ~ 0.02;24 h 最高气温预报准确率,YBY 比 ECMOS 月高 4.6%,其他时段比 ECMOS 月低 1.6% ~ 6.9%,96 h 低的最多,高达 6.9%,YBY 相对 NMC 最高气温的正技巧在 24 h 较 ECMOS 月高 0.07,其他时段较 ECMOS 月低 0.02 ~ 0.1,72 h 低的最多,高达 0.87。

2.2 月季检验

2.2.1 ***月检验*** 从图 2a 看出,最低气温预报准确率呈明显的单峰型变化,5 种客观预报产品都在 2 月进入谷底,之后稳定上升,在 7 ~ 9 月达到峰值,随后又逐渐下降,其中, NMC 在 9 月最高、T639MOS 月和 T639MOS 季在 8 月最高、ECMOS 月和 ECMOS 季在 7 月最高;1 ~ 12 月预报准确率最高的客观产品分别是:NMC、NMC、NMC 和 ECMOS 月、T639MOS 月、T639MOS 季、T639MOS 月、T639MOS 月、T639MOS 月、T639MOS 季、T639MOS 月和 T639MOS 季,各月 YBY 与当月最优客观产品相比,1 ~ 3 月和 5 月,YBY 高于最优客观产品,4、9、12月,YBY与最优客观产

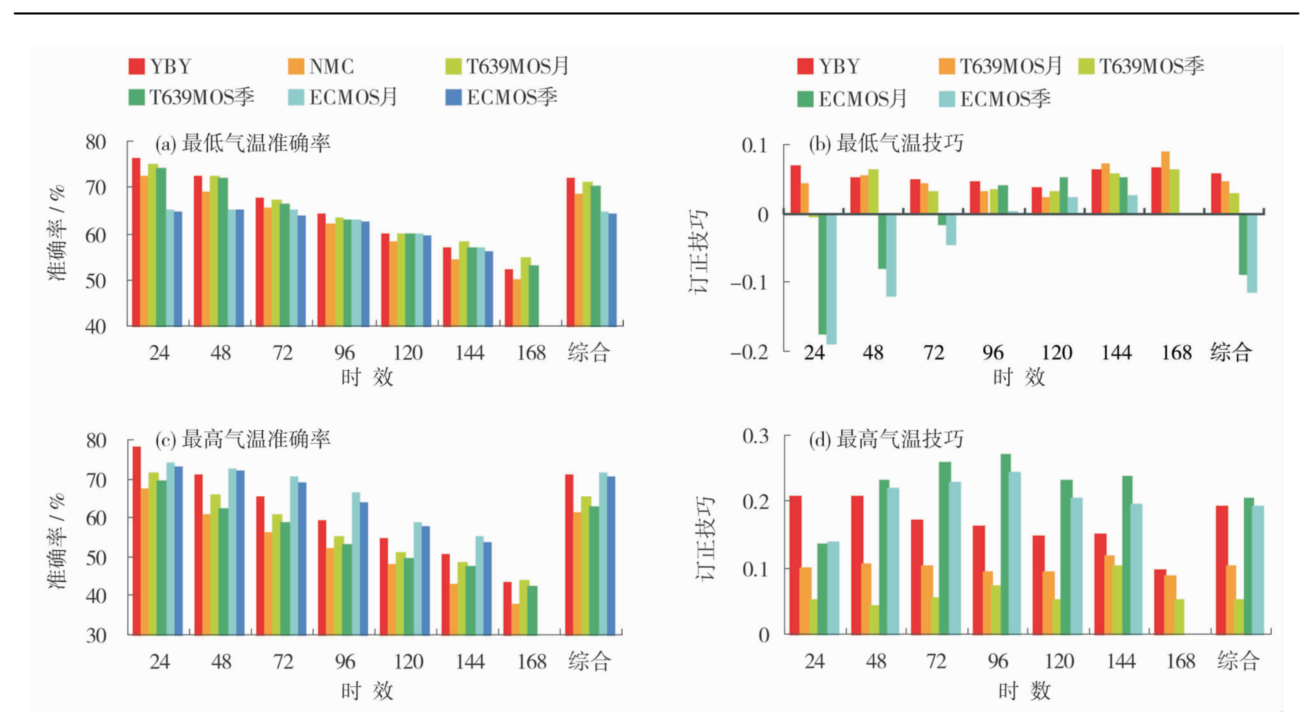


图 1　2015 年 1 月 ~2016 年 6 月逐时效气温主客观预报产品检验

Fig. 1　Product inspection of every hour both subjective and objective temperature forecast in January 2015 to June 2016

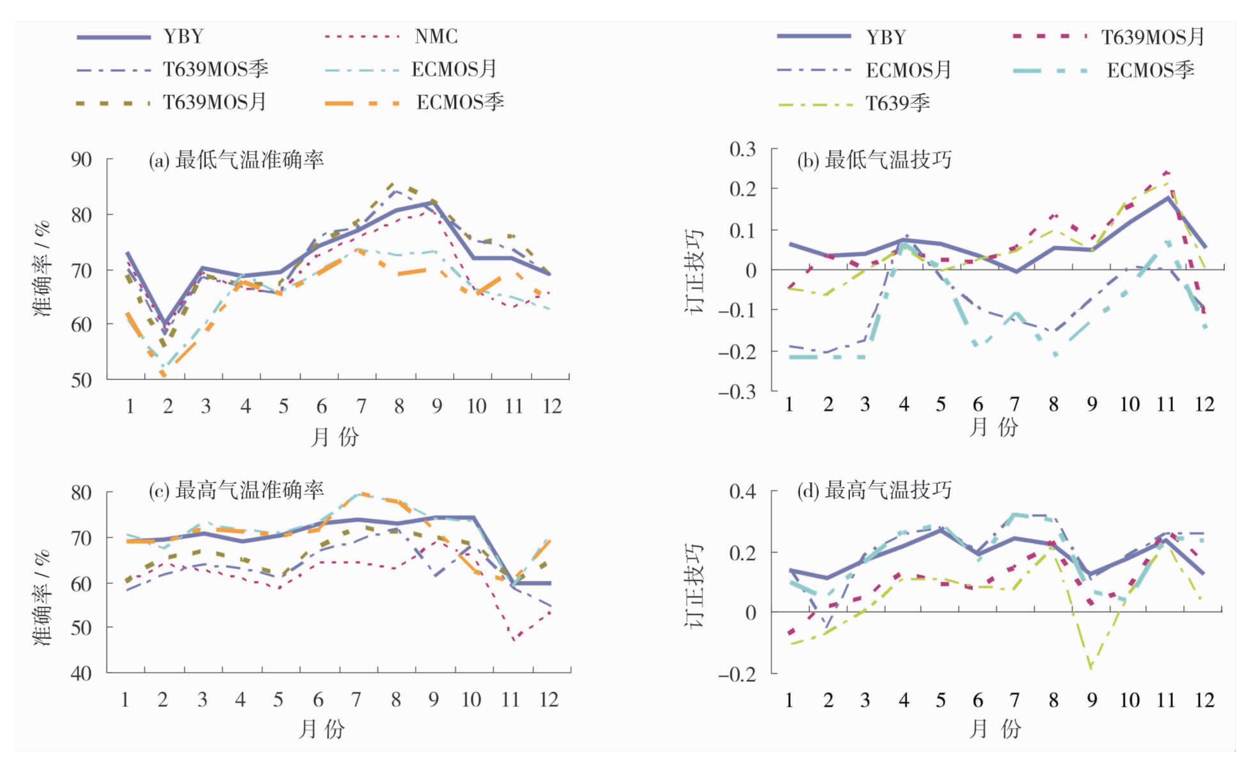


图 2　2015 年 1 月 ~2016 年 6 月逐月气温主客观预报产品检验

Fig. 2　Product inspection of every month both subjective and objective temperature forecast in January 2015 to June 2016

品相当,其他月份低于最优客观产品。

从图 2b 看出,最低气温预报相对于 NMC 的订正技巧呈明显的双峰型变化,4 种客观产品在 4 月和 10 ~ 11 月分别达到最高峰或次高峰,其中,ECMOS 月在 4 月达到最高峰,其他 3 种客观预报产品都在 4 月达到次峰值,之后在波动中缓慢下降,ECMOS 月在 10 月达到次高峰,其他 3 种产品都在 11 月最高峰;1 ~ 12 月订正技巧最高的客观产品分别是:T639MOS 月、T639MOS 月、T639MOS 月、ECMOS 月、T639 MOS月、T639 MOS季、T639 MOS月、T639 MOS

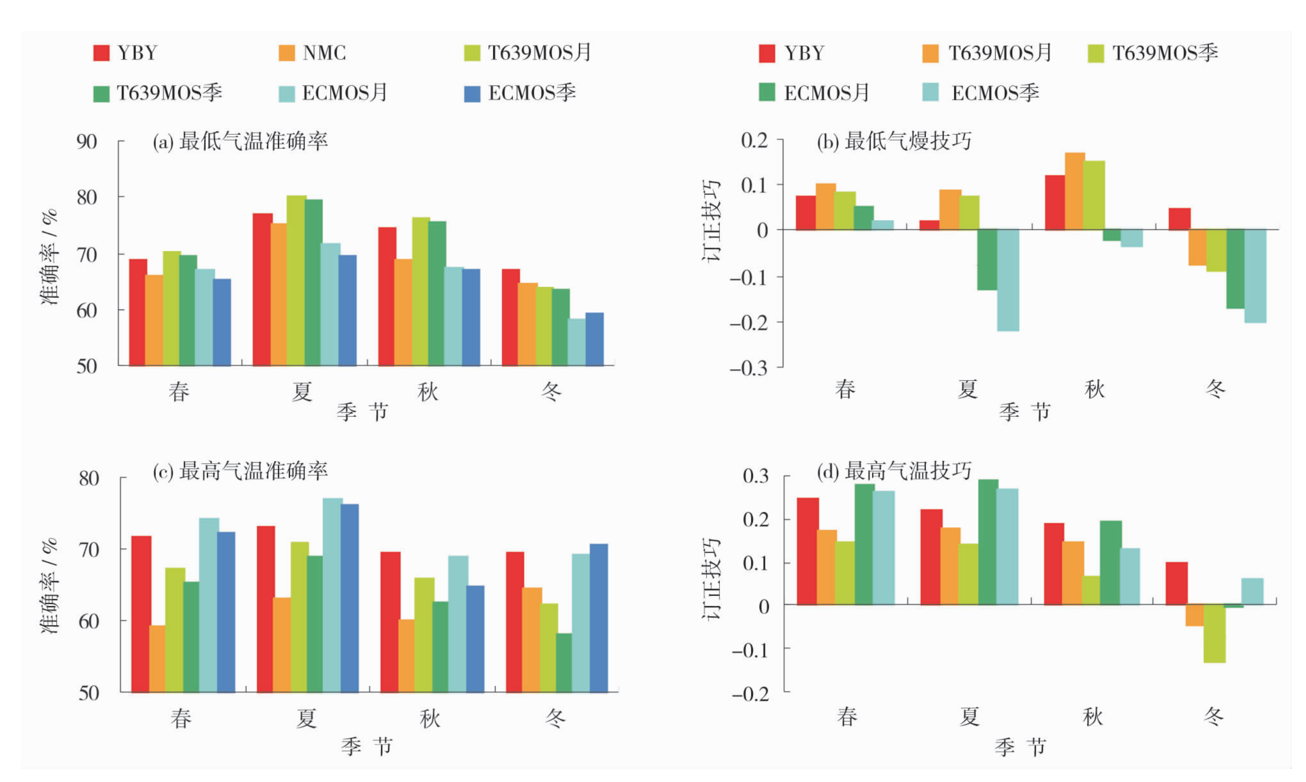


图 3　2015 年各季度气温主客观预报产品检验

Fig. 3　Product inspection of every quarter both subjective and objective temperature forecast in 2015

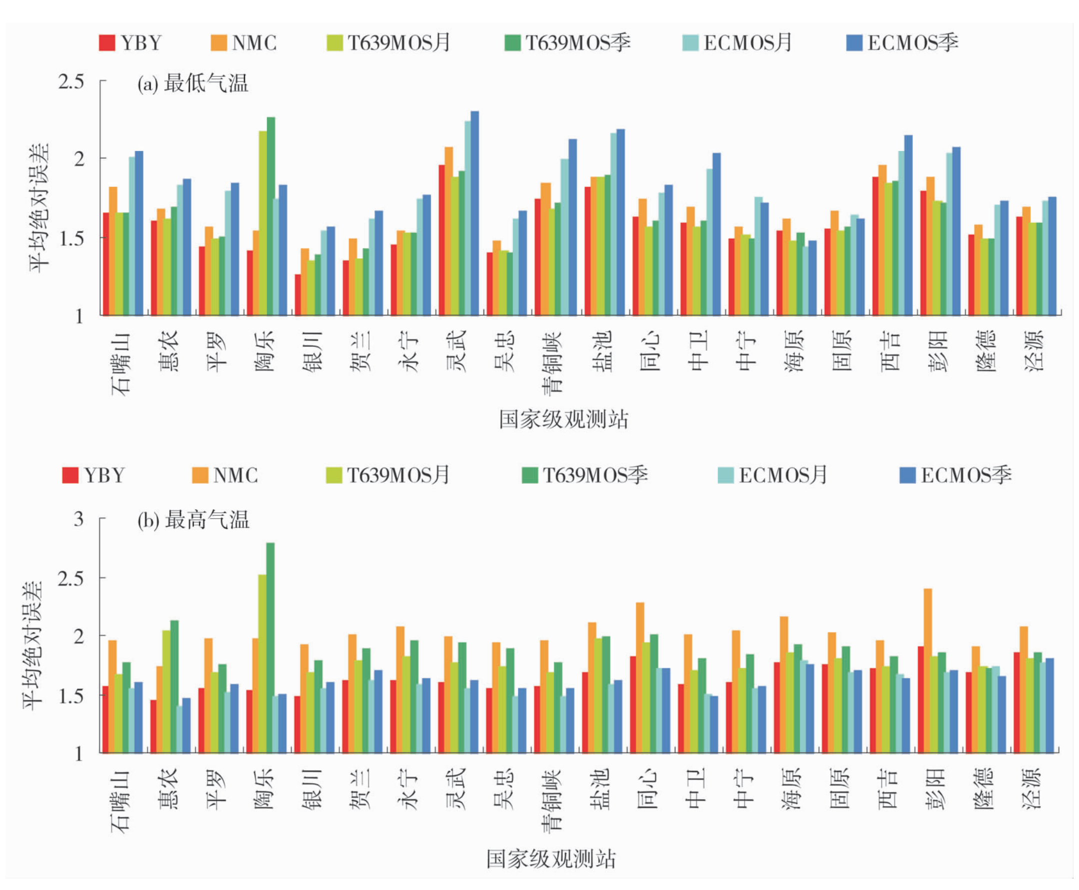


图 4　2015 年 1 月 ~2016 年 6 月各站气温主客观预报产品平均绝对误差检验

Fig. 4　Test about average absolute error of both subjective and objective temperature forecast products in January 2015 to June 2016

月、T639MOS 月、T639MOS 季、T639MOS 月、T639MOS 季,其中,1 月和 12 月最优客观产品的订正技巧为负技巧,其他月份最优客观产品的订正技巧为正技巧;YBY 与最优客观产品相比,除 7 月外其他 11 个月的订正技巧都为正技巧,其中,1 ~ 3 月、5 ~ 6 月、12 月,YBY 的订正技巧都高于最优客观产品。

从图 2c 看出,最高气温预报准确率总体呈单峰型变化,5 种客观预报产品从 1 月开始缓慢上升,在 7 ~ 10 月达到峰值,随后又逐渐下降,其中,NMC 在 9 月最高、T639MOS 月、ECMOS 月和 ECMOS 季在 7 月最高、T639MOS 季在 8 月最高;1 ~ 12 月预报准确率最高的客观产品分别是:ECMOS 月、ECMOS 季、ECMOS 月、ECMOS 季、ECMOS 月、ECMOS 月、ECMOS 季、ECMOS 月、ECMOS 月、ECMOS 月、ECMOS 季、ECMOS 月;各月 YBY 与对应月份的最优客观产品相比,2 月、6 月、9 ~ 11 月,YBY 与最优客观产品预报水平基本持平,其他月份都低于最优客观产品。

从图 2d 看出,最高气温预报订正技巧呈波动变化,4 种客观产品在 1、2、9 月达到谷底,7、11 月达到最高峰,其中,T639MOS 月在 1 月最低,T639MOS 季在 9 月最低,ECMOS 月和 ECMOS 季在 2 月最低、7 月最高,T639MOS 月和 T639MOS 季在 11 月达到最高峰;1 ~ 12 月订正技巧最优客观产品分别是:2、4、5、7 月是 ECMOS 季,其他月份是 ECMOS 月,最优客观产品的订正技巧逐月都为正技巧;YBY 与最优客观产品相比 12 个月的订正技巧都为正技巧,其中,2、9 月,YBY 的订正技巧高于最优客观产品,其他月份低于最优客观产品。

2.2.2 *季检验*　最低气温预报准确率检验结果如图 3a 所示,春夏秋 3 个季节最优客观产品都是 T639MOS 月,冬季是 NMC;各季节最优客观产品与 YBY 相比,除了冬季,其他 3 个季节 YBY 都低于最优客观产品。最低气温订正技巧如图 3b 所示,各季节最优客观产品都是 T639MOS 月,T639MOS 月除了冬季为负技巧 −0.08,其他季节正技巧在 0.09 ~ 0.17;各季节最优客观产品与 YBY 相比,YBY 在四个季节都是正技巧,除了冬季,其他 3 个季节正技巧都低于最优客观产品。

最高气温预报准确率检验结果如图 3c 所示,冬季最优客观产品是 ECMOS 季,其他 3 个季节都是 ECMOS 月;各季节最优客观产品与 YBY 相比,除了秋季,其他 3 个季节 YBY 都低于最优客观产品。最高气温订正技巧如图 3d 所示,冬季最优客观产品是 ECMOS 季,其他 3 个季节都是 ECMOS 月,各季节最优客观产品都是正技巧;各季节最优客观产品与 YBY 相比,YBY 在四个季节都是正技巧,除了冬季,其他 3 个季节正技巧都低于最优客观产品。

2.3　区域检验

从图 4a 全区 20 个评分站最低气温平均绝对误差看,陶乐、海原最优客观产品分别是 NMC 和 ECMOS 月,吴忠、中宁、隆德、彭阳等 4 站最优客观产品是 T639MOS 季,其他测站最优客观产品均是 T639MOS 月;各站最优客观产品与 YBY 对比,惠农、平罗、陶乐、银川、贺兰、永宁、吴忠、盐池等 8 站误差低于最优客观产品,其他测站误差均大于最优客观产品。

从图 4b 全区 20 个评分站最高气温平均绝对误差看,中卫、同心、海原、西吉、隆德等 5 站最优客观产品是 ECMOS 季,其他测站最优客观产品均是 ECMOS 月;各站最优客观产品与 YBY 对比,除了银川和贺兰等 2 站误差低于最优客观产品,其他测站误差均大于最优客观产品。

3　最优客观产品的预报因子分析

从以上的评估中可以发现,最高气温、最低气温预报效果最好的两种产品分别是 ECMOS 月和 T639MOS 月。虽然温度呈正态分布,但影响温度变化的因素很多,预报员很难在有限的时间里逐一全面考虑,特别是当数值模式对环流形势和影响系统的预报相互有分歧而造成气温预报不一致时,预报员很容易出现预报偏差。为此,本文挑选出两种最优客观产品(ECMOS 月、T639MOS 月)的预报方程频次最高的前 10 个因子(表 1),对比最高、最低气温入选预报因子的差异性,使得在出现转折性天气需要大量订正时,通过这些给出的因子使预报员知道对 2 m 气温起关键作用的是哪些因子,从而分析关键因子的变化对气温进行订正。

无论是最高气温、还是最低气温,预报的关键物理量都是与温度相关的物理量,两种最优客观预报产品均入选的物理量包括:相当位温或假相当位温、温度、湿位涡、高度等,这些物理量都集中在中低层或地面,且中低层物理量垂直方向的变化对气温影

表 1　最优客观产品气温预报因子频次排序

Tab. 1　Sorting of the frequency factor about temperature forecast optimal objective products

ECMOS 月	T639MOS 月
950 hPa 相当位温垂直切变	地面第一层土壤温度
地面从上一时次开始的最高温度	1 000 hPa 假相当位温垂直切变
地面 y 方向的地面气压水平梯度	950 hPa 相当位温垂直切变
750 hPa 温度的 e 指数	地面从上一时次开始的最低温度
650 hPa 高度	650 hPa 高度
地面地表太阳辐射	650 hPa 湿位涡垂直项
750 hPa 湿位涡垂直项	750 hPa 比湿
750 hPa 假相当位温垂直切变	500 与 850 hPa 之差厚度
500 与 850 hPa 之差假相当位温垂直差	850 hPa 假相当位温
800 hPa 温度	650 hPa x 方向的水汽通量

响明显。两种最优客观预报产品,还有一些入选的不一样的物理量,如 ECMOS 月对最高气温的预报还关注逐时次最高气温、地表太阳辐射、气压水平梯度等地面气象要素,以及近地面层的热力和动量、500 与 850 hPa 之间的热力不稳定等变化对最高气温的影响;T639MOS 月对最低气温的预报则主要关注地表土壤温度、逐时次最低气温等地面气象要素,以及近地面层的热力、水汽、动量、逆温层的厚度等物理量变化。对比预报员主观经验和客观方法选取的关键因子,客观方法选取的预报因子不仅包含了预报员经验总结出的关键物理量,而且也增加了关键物理量的三维累积量,更细致刻画出气温的时空变化特征,考虑的因子更全面、更细致、弥补了预报员主观预报使用资料上的一些缺憾。因此客观方法的气温预报有预报员无法比拟的优越性,预报结果对预报员制作精细化气温预报有积极的参考价值和指导作用。

4　结 论

(1) MOS 方法预报宁夏气温,整体上优于 NMC,ECMOS 月和 T639MOS 月分别是最高气温和最低气温的最优客观产品,YBY 最低气温预报准确率和技巧均高于 T639MOS 月,最高气温预报准确率技巧均低于 ECMOS 月。

(2) 所有主客观产品,最低气温在春季 2 月预报效果最差,夏秋季 7 ~ 9 月最好,客观产品在春秋季 4 月和 10 ~ 11 月订正技巧最高,冬夏季 12 ~ 1 月和 6 ~ 8 月最低,YBY 在冬春季 1 月和 5 月订正技巧最高,夏季 7 月最低;最高气温在秋冬季 1 月和 11 月预报效果最差,夏季 7 ~ 8 月最好,春秋季 2 月和 9 月订正技巧最低,夏季 7 ~ 8 月最高。

(3) 具体到站点,最低气温的最优客观产品 75% 的测站是 T639MOS 月;最高气温 80% 测站最优客观产品是 ECMOS 月;YBY 预报最低气温 60% 测站预报水平低于最优客观产品,最高气温的预报 90% 测站预报水平低于最优客观产品。

(4) 资料按月划分的 MOS 方法选取的预报因子更集中、物理意义更明确、代表性更强,预报效果更好。ECMOS 月和 T639MOS 月一致的物理量为集中在中低层或地面的相当位温或假相当位温、温度、湿位涡、高度等,但各自还有一些起关键作用的入选因子影响最高、最低气温的预报。

(5) ECMOS 月和 T639MOS 月是最高气温和最低气温的最优客观产品,预报水平接近甚至高于 YBY,可以作为宁夏城镇基础预报产品,天气平稳时可不做订正或稍作订正。但是,检验评估中也发现,有强冷空气活动、雨雪转化等复杂或转折性天气出现时,MOS 方法与一般的统计方法类似,误差增大,这与数值模式本身预报性能有关。今后在继续更新完善 MOS 方法时,可考虑适当增加一些测站的实况因子,如本站温、压、湿等基本要素场资料,可能会起到较好的作用。本文对两种 MOS 方法在站点预报中的检验,得到 ECMOS 月和 T639MOS 在宁夏最高、最低气温预报中表现最优,为此,今后的格点预报中可尝试将资料按月划分的 MOS 方法制作格点预报,为提高本区域的格点预报提供技术支撑。

参考文献(References)

[1] 薛志磊,张书余. 气温预报方法研究及其应用进展综述[J]. 干旱气象,2012,30(3):459 - 464. [XUE Zhilei,ZHANG Shuyu. Advance in research and application about temperature forecast method[J]. Arid Meteorology,2012,30(3):459 - 464.]

[2] 罗菊英,周建山,闫永财. 基于数值预报及上级指导产品的本地气温 MOS 预报方法[J]. 气象科技,2014,42(3):443 - 450. [LUO Juying, ZHOU Jianshan, YAN Yongcai. Local temperature MOS forecast method based on numerical forecast products and superior guidance[J]. Meteorological Science and Technology,2014,42(3):443 - 450.]

[3] 刘还珠,赵声蓉,陆志善,等. 国家气象中心气象要素的客观预报——MOS 系统[J]. 应用气象学报,2004,15(2):181 - 191. [LIU Huanzhu,ZHAO Shengrong,LU Zhishan,et al. Objective element forecasts AT NMC:A MOS system[J]. Quarterly Journal of Applied Meteorology,2004,15(2):181 - 191.]

[4] 陈豫英,陈楠,王素艳,等. MOS 方法在动力延伸期候平均气温预报中的应用[J]. 应用气象学报,2011,22(1):86 - 95. [CHEN Yuying,CHEN Nan,WANG Suyan,et al. Application of MOS method on average temperature prediction in dynamical extended range[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2011,22(1):86 - 95.]

[5] 陈豫英,刘还珠,陈楠,等. 基于聚类天气分型的 KNN 方法在风预报中的应用[J]. 应用气象学报,2008,19(5):564 - 572. [CHEN Yuying,LIU Huanzhu,CHEN Nan,et al. Application of KNN to wind forecast based on clustering synoptic patterns[J]. Journal of Applied Meteorological Science,2008,19(5):564 - 572.]

[6] 陈豫英,陈晓光,马金仁,等. 风的精细化 MOS 预报方法研究[J]. 气象科学,2006,26(2):210 - 216. [CHEN Yuying,CHEN Xiaoguang,MA Jinren,et al. A study on subtle MOS forecasting method of wind[J]. Journal of the Meteorological Sciences,2006,26(2):210 - 216.]

[7] 陈豫英,陈晓光,马筛艳,等. 精细化 MOS 相对湿度预报方法研究[J]. 气象科技,2006,34(2):143 - 146. [CHEN Yuying,CHEN Xiaoguang,MA Shaiyan,et al. Fine MOS forecasting method of relative humidity[J]. Meteorological Science and Technology,2006,34(2):143 - 146.]

[8] 陈豫英,陈楠,张磊,等. 概率回归方法在宁夏分级沙尘天气预报中的应用检验[J]. 干旱区地理,2016,39(4):704 - 711. [CHEN Yuying,CHEN Nan,ZHANG Lei,et al. Application verification of the regression estimation of event probabilities in graded sand prediction[J]. Arid Land Geography,2016,39(4);704 - 711.]

[9] 梁立为,尹洁,马振富,等. 三种非线性回归逐时气温预报比较订正[J]. 气象科技,2015,43(6):1116 - 1120. [LIANG Liwei,YIN Jie,MA Zhenfu,et al. Comparative correction of three nonlinear regressive methods of hourly surface temperature forecasting[J]. Meteorological Science and Technology,2015,43(6):1116 - 1120.]

[10] 陈丽娟,李维京. 月动力延伸预报产品的评估和解释应用[J]. 应用气象学报,1999,10(4):486 - 490. [CHEN Lijuan,LI Weijing. The score skill and interpretation of monthly dynamic extended range forecast[J]. Journal of Applied Meteorological Science,1999,10(4):486 - 490.]

[11] 王娜,方建刚. 月动力延伸预报产品在陕西月降水预测中的释用[J]. 气象科技,2009,37(5):520 - 522. [WANG Na,FANG Jiangang. Interpretation and application of monthly dynamical extended range forecast products in Shaanxi Province[J]. Meteorological Science and Technology,2009,37(5):520 - 522.]

[12] 卞正奎,朱寿鹏,胡航菲,等. 泰州市气温多模式集成预报系统的建立与评估[J]. 气象科技,2016,44(4):605 - 611. [BIAN Zhengkui,ZHU Shoupeng,HU Hangfei,et al. Establishment and evaluation of a multi-model ensemble forecast system of temperature for Taizhou[J]. Meteorological Science and Technology,2016,44(4):605 - 611.]

[13] 董全,代刊,陶亦为,等. ECMWF 集合预报的极端气温预报产品应用和检验[J]. 气象,2017,43(9):1095 - 1109. [DONG Quan,DAI Kan,TAO Yiwei,et al. Application and verification of extreme weather forecast products of ECMWF weather forecast prediction system[J]. Meteorological Monthly,2017,43(9):1095 - 1109.]

[14] 王莹,李永生,段春锋. 多模式对东北地区月气温的预测性能对比评估[J]. 气象科技,2016,44(5):749 - 753. [WANG Ying,LI Yongsheng,DUAN Chunfeng. Contrast and evaluation of multi-model forecast performance of monthly temperature over Northeast China[J]. Meteorological Science and Technology,2016,44(5):749 - 753.]

[15] 李玲萍,尚可政,钱莉. 最优子集神经网络高温预报模型[J]. 干旱区地理,2012,35(1):67 - 72. [LI Lingping,SHANG Kezheng,QIAN Li. High temperature prediction modeling of neural network using the optimal subset[J]. Arid Land Geography,2012,35(1):67 - 72.]

[16] 吴爱敏. 极端气温集成预报方法对比[J]. 气象科技,2012,40(5):772 - 777. [WU Aimin. Comparative analysis of consensus forecast for extreme temperature[J]. Meteorological Science and Technology,2012,40(5):772 - 777.]

[17] 陈豫英,陈晓光,马金仁,等. 基于 MM5 模式的精细化 MOS 温度预报[J]. 干旱气象,2005,23(4):52 - 56. [CHEN Yuying,CHEN Xiaoguang,MA Jinren,et al. Fine MOS temperature forecast based on MM5[J]. Journal of Arid Meteorology,2005,23(4):52 - 56.]

Influence of MOS methods of different time scale on temperature forecast in Ningxia

CHEN Di[1,2,3], CHEN Yu-ying[1,2,4], Ma Jin-ren[1,2,4], NIE Jing-xin[1,2,4], LI Qiang[1,2,4]

(1 *Key Laboratory of Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, CMA, Yinchuan* 750002, *Ningxia, China*; 2 *Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Mitigation in Ningxia, Yinchuan* 750002, *Ningxia, China*; 3 *Wuzhong Meteorological Bureau, Wuzhong* 751100, *Ningxia, China*; 4 *Ningxia Meteorological Observatory, Yinchuan* 750001, *Ningxia, China*)

Abstract: To master the temperature forecast capabilities of NMC, local subjective and objective products in temperature forecasting is of great significance to improve the quality of urban weather forecasting in Ningxia Province, China and its national ranking in weather forecasting. Based on the two model products of T639 and ECMWF with the temperature data of 20 national observatories in Ningxia from January 2009 to December 2014, the highest and lowest temperatures of the coming 168 hours were predicted by adopting two MOS methods which grouped the data by month or by season. The verification was done on the forecasted results for the time period from January 2015 to June 2016 using the current inspection and evaluation method adopted in Ningxia, and the comparisons with YBY and NMC were also conducted. The results show that the whole effect of the MOS method is superior to the NMC, and its forecast effect with monthly grouped data is superior to that when the data was grouped in season. The T639MOS by month and ECMOS by month is the optimal objective products of the highest and lowest temperature. For predicting the lowest temperature, compared with the optimal objective product, the forecast by YBY is better than that of T639MOS by month. For predicting the highest temperature, the forecast of ECMOS by month is better than that by YBY. The physical quantities of the two best objective predictive products are the equivalent temperature, or the potential pseudo-equivalent temperature, the temperature, the wet potential vorticity and the height, which are concentrated in the middle and lower layers or the ground. However, there are some factors that play a key role in the forecast of the highest and lowest temperatures.

Key words: MOS method; different data partition; inspection and evaluation; Ningxia